



УДК 004.32

**ПРОДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗНОРОДНЫХ ФАКТОРОВ  
ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В ДАТА-ЦЕНТРЕ****THE PRODUCTION SYSTEM FOR ANALYSIS OF THE DISPARATE FACTORS  
THAT FIRE SITUATIONS IN THE COMPUTER ROOM****Н.А. Ханис, Е.А. Титенко  
N.A Khanis, E.A. Titenko***Юго-Западный государственный университет, Россия, 305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94**South-West State University, 50 year October st., Kursk, Russia**E-mail: johntit@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается задача прогнозирования пожароопасной ситуации в компьютерном зале с постоянно подключенным питанием вычислительных шкафов. Анализ пожароопасной ситуации целесообразно выполнять на основе объединения физических и химических факторов. Общий подход к выявлению пожароопасной ситуации заключается в применение параллельных продукционных систем, одновременно анализирующих сочетания условий и факторов, способных приводить к нестабильной, пожароопасной ситуациям. Продукционная система задает переходы по обобщенному графу состояний с учетом важности факторов. Наибольшей важностью характеризуются концентрации химических газов, отдельно указывающих на процессы тления и горения. Эта особенность позволяет досрочно выявлять пожароопасную ситуацию или начальную стадию пожара.

**Resume.** The article considers the problem of predicting fire hazards in the computer room with cabinets permanently connected computing power. An analysis of the situation it is advisable to carry out a fire by combining physical and chemical factors. A common approach to the identification of a fire situation is the use of parallel production systems, while analyzing a combination of conditions and factors that can lead to unstable, fire situations. The production system determines the transitions on the generalized graph of states with regard to the factors of importance. The greatest importance are characterized by the concentration of chemical gases, separately indicating the processes of decay and burning. This feature allows you to identify early fire hazard or an initial stage of a fire.

**Ключевые слова:** риск, оценка ситуации, продукционная система, пожар.

**Keywords:** risk, appraisal of the situation, production system, fire.

**Актуальность работы**

Как известно [Ханис Н.А., Сазонов С.Ю., Титенко Е.А. 2015], дата-центр – это сложный информационно-технический объект, находящийся под круглосуточной информационной нагрузкой и имеющий постоянное во времени подключение питания. Ценность аккумулируемой и используемой клиентами информации уступает только ценности здоровью и жизни людей при возникновении пожара при выходе дата-центра из строя. Несмотря на многоуровневую организационно-техническую систему контроля пожароопасной ситуации (ПОС) в дата-центра, анализ и выработка управленческих решений осуществляется в условиях неопределенности множества информационных, организационно-технических, структурных, технологических и даже климатических факторов, в комплексе имеющих неоднозначную логику развития пожара и сложную организацию взаимосвязей факторов, частично компенсирующих или резонирующих итоговое воздействие.

Наиболее остро задача комплексного учета множества разнородных факторов проявляется при оценке рисков [Гривачев А.В., Емельянов С.Г., Бородин М.В. 2015] возникновения пожара и прогнозирования развития ПОС в части совмещения значений физических величин (сила тока, температура и др.) и концентраций определенных типов газов(химических веществ), выделяемых при тлении/горении и физических процессов распространения газа при различных температурах. Данная задача усложняется тем, что факторы в совокупности имеют временную, структурную, статистическую и иную неопределенности, что не позволяет полностью полагаться на расчетно-логические методы и алгоритмы анализа и прогнозирования. В результате возникает риск как ложного срабатывания на кратковременное изменение ситуации в дата-центре, так и риск пропуска реальной ПОС, приводящей к пожару.

## Общий подход к решению задачи прогнозирования пожароопасной ситуации

Ключевым этапом в алгоритмизации решений по прогнозированию ПОС является этап анализа совокупности измеримых факторов (сила тока, температура, выделяемая мощность, уровень угарного газа, углекислого газа, водорода, скорость движения воздуха в помещении, наличие легко горючих материалов и др.) и условия функционирования дата - центра, существенные для изменения концентраций газов.

Анализ РПФХВ связан с интеллектуализацией процессов поиска, прогнозирования, преобразования и хранения информации о первичных факторах риска, имеющих стохастическую и/или недетерминированную природу возникновения, что требует применения эффективных математических и программных средств, ориентированных на обработку знаний. Как известно, обработка знаний [Титенко Е.А. 2012; Титенко Е.А., Зерин И.С. 2012] – это эффективная обработка символьной (строковой) информации. Недетерминированность процессов обработки рисков связана с асинхронностью моментов времени проявления различных факторов и динамичностью состава первичных факторов риска, неопределенностью логических и структурных отношений между ними, что задает вариативное многообразие групповых воздействий и появления итогового риска.

В результате задача обработки РПФХВ сводится к задаче поиска в пространстве возможных пожароопасных состояний дата- центра на основе продукционных правил, имеющих исчислительную логику выполнения. Разрешительный характер правил исчислительной продукционной системы [Титенко Е.А., Зерин И.С. 2012] является естественной основой задания ветвящихся процессов и введения множества параллельно выполняющихся правил. В силу модульности конструкции правил продукционные системы имеют все условия для параллельной обработки рисков.

### Обобщенный граф оценки пожароопасной ситуации

Для формализации процессов анализа ПОС рассматривается отдельная (одна) вычислительная стойка, постоянно находящаяся под нагрузкой и являющейся потенциальным источником ПОС. Возможны следующие состояния вычислительной стойки дата - центра:

- штатное –  $Z_0$  (ZNORMAL);
- нестабильное –  $Z_1$ ;
- пограничное (пожароопасное) –  $Z_2$ ;
- возгорание –  $Z_3$  (ZFIRE).

Прогноз ПОС описывается обобщенным графом переходов между состояниями (рис.1). При этом при попадании в состояние  $Z_2$  переход возможен в штатное состояние  $Z_0$  (при принятии противопожарных мер безопасности) или в состояние  $Z_3$ . Состояние  $Z_3$  (ZFIRE) является единственным в графе (см. рис.2), в которое можно попасть из любого другого состояния под действием факторов с наибольшими весами (концентрация углекислого газа).

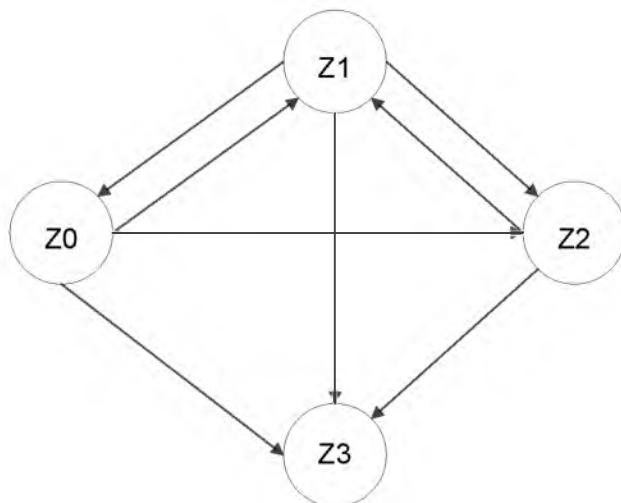


Рис.1. Обобщенный граф переходов для оценки пожароопасной ситуации  
Fig.1. The generalized graph of the transition for assessment of the fire hazard situation

Для составления продукционных правил вводятся следующие общие температурные условия работы дата – центра, необходимые для составления продукционных правил и заполнения полей данных в информационных таблицах по мере выполнения проверочных и фиксирующих вычислений. Как представляется, существенными температурными условиями работы являются:

- общая температура в помещении дата - центра  $T_{\text{ROOM}}$  и признак работающего кондиционера  $f_i$ ;



- признак открытой двери/окна в помещении дата – центра  $f_2$ .

Общая температура в помещении дата – центра  $T_{\text{ROOM}}$  необходима для автоматизации обнаружения работающего кондиционера. Действительно, при расхождении температуры  $T_{\text{ROOM}}$  и температуры на выходе кондиционера  $T_{\text{COND}}$  на некоторую экспериментально установленную величину ( $\approx 8-10^\circ \text{C}$ ) можно считать, что в помещении дата – центра идет принудительное охлаждение воздуха, т.е. проверяемым является условие  $\Delta T = T_{\text{ROOM}} - T_{\text{COND}}$ .

Данные двоичные признаки  $f_1$  и  $f_2$  задают различные проверочные интервалы при оценке пожароопасных факторов и последующем принятии решения.

Оценка каждого состояния графа производится через измерение и анализ факторов, связанных с пожароопасной ситуацией:

- сила тока  $I$  в розетке стойка;
- температура проводки в розетке, подключенной к стойке  $t_{\text{LINE}}$ ;
- концентрация угарного газа на  $1\text{м}^3$  -  $\eta_{\text{CO}}$ ;
- концентрация углекислого газа на  $1\text{м}^3$  -  $\eta_{\text{CO}_2}$ ;
- концентрация водорода на  $1\text{м}^3$  -  $\eta_{\text{H}_2}$ ;
- концентрация ароматических углеводородов на  $1\text{м}^3$  -  $\eta_{\text{CH}}$ .

Установлено, что для алгоритмизации расчетов ПОС можно принять следующую динамику изменения концентраций газов:

- на стадии тления: существенное увеличение концентраций  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  при примерно постоянной концентрации  $\text{CO}_2$ ;
- на стадии начального пожара: существенное уменьшение концентраций  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  при резком увеличении концентрации  $\text{CO}_2$ .

В зависимости от значений двоичных признаков поддержания температуры в замкнутом помещении дата – центра различают 4 варианта состава и применения продукционных систем (рис.2) для анализа ПОС, структурно идентичных между собой, но имеющих различные условия проверки и срабатывания. Так согласно рис. 4 для закрытых помещений изменения концентраций проверяемых газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) являются алгоритмическими признаками смены состояний на обобщенном графе (см. рис.2). Эти случаи описываются продукционными системами  $\text{ПС}_2$  и  $\text{ПС}_4$ . Для открытых помещений анализ, выявление и принятия решения по ПОС будет зависеть от некоторых других - внешних по отношению к газовым датчикам причин. В эти случаях  $\text{ПС}_1$  и  $\text{ПС}_3$  будут содержать дополнительные продукции или условия в левой части правил для анализа причин ПОС.

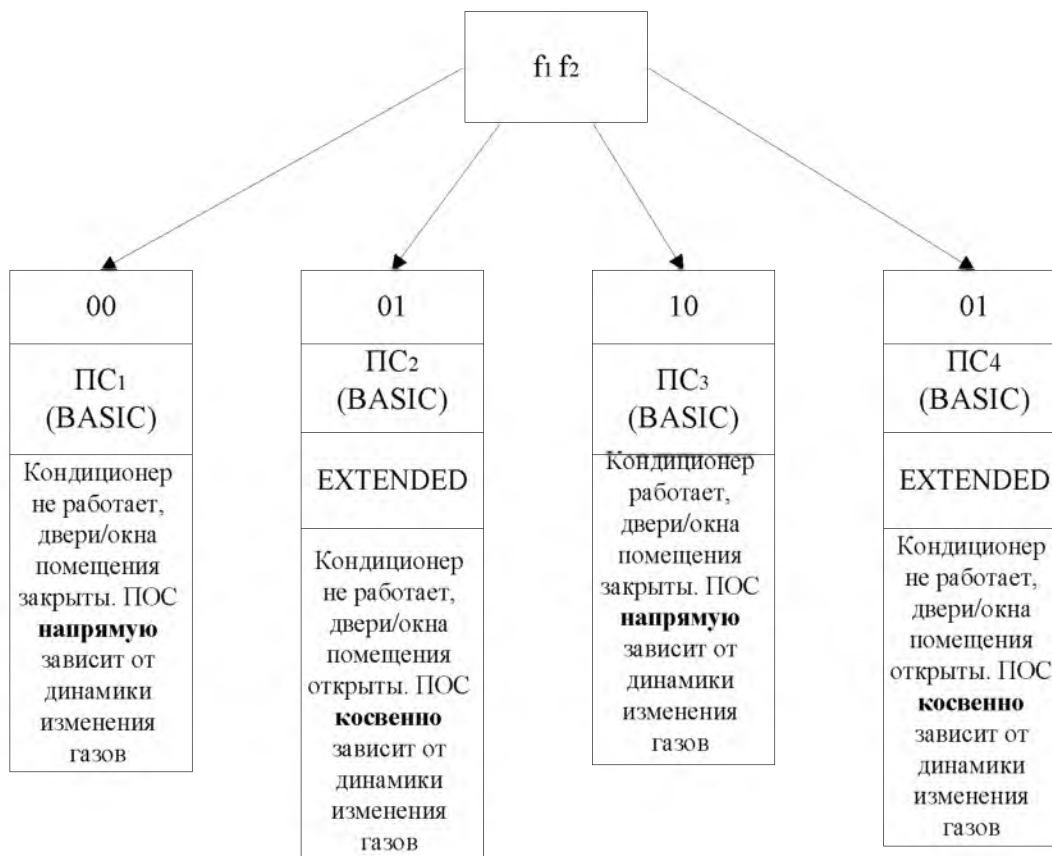


Рис.2. Продукционные системы для анализа пожара по признакам  $f_1$ ,  $f_2$

Fig.2. Production systems for the analysis of a fire on the basis of  $f_1$ ,  $f_2$

### Разработка продукционной системы оценки пожароопасной ситуации

Формализация проверяемых пожароопасных факторов основывается на следующих причинно-следственных схемах, упорядочивающей источники и результаты процессов тления и горения:

- увеличение силы тока → повышение температуры розетки и проводки → тление поливиниловой изоляции провода → горение;
- внешний источник тепла → повышение температуры проводки → тление поливиниловой изоляции провода → горение.

Для формализации проверяемых факторов вводятся следующие переменные:

level<sub>CO</sub> – признак порогового превышения концентрации угарного газа CO (level<sub>CO</sub>=FALSE);

level<sub>H<sub>2</sub></sub> – признак порогового превышения концентрации водорода H<sub>2</sub> (level<sub>H<sub>2</sub></sub>=FALSE);

level<sub>CO<sub>2</sub></sub> – признак порогового превышения концентрации углекислого газа CO<sub>2</sub> (level<sub>CO<sub>2</sub></sub>=FALSE);

level<sub>I</sub> – признак порогового превышения силы тока I (level<sub>I</sub>=FALSE);

C<sub>H<sub>2</sub></sub> – счетчик превышений концентрации водорода (+1; +Δ<sub>H<sub>2</sub></sub>);

C<sub>CO</sub> – счетчик превышений концентрации угарного газа (+1; +Δ<sub>CO</sub>);

C<sub>CO<sub>2</sub></sub> – счетчик превышений концентрации углекислого газа (+1; +Δ<sub>CO<sub>2</sub></sub>);

C<sub>T</sub> – счетчик превышений температуры (+1; +Δ<sub>T</sub>);

C<sub>I</sub> – счетчик превышений силы тока (+1; +Δ<sub>I</sub>);

Δ<sub>T</sub> – признак порогового превышения температуры;

Δ<sub>I</sub> – признак порогового превышения силы тока.

Δ<sub>CO</sub> – признак порогового превышения концентрации угарного газа;

Δ<sub>H<sub>2</sub></sub> – признак порогового превышения концентрации водорода.

В соответствии с первой причинно-следственной схемой из указанных выше первая фаза прогнозирования ПОС связана с анализом кратковременных отклонений физических факторов.

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_0 \quad (1)$$

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_0 \quad (2)$$

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& (I > d2_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_1 \quad (3)$$

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \vee (I > d2_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_1 \quad (4)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \& (I < d1_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_0 \quad (5)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \vee (I < d1_I)] \& [(\eta_{CO} \approx const) \& ((\eta_{H_2} \approx const))] \rightarrow Z_0 \quad (6)$$

Продукции (1)-(4) описывают ситуации кратковременных отклонений физических факторов (параметры I, T), не приводящие к ПОС. Отклонения значений силы тока d<sub>1I</sub> и температуры розетки и проводки стойки d<sub>1LINE</sub> являются случайными и незначительными, они не являются источником ПОС. Состояние системы информационно-аналитической мониторинга и контроля за ПОС фиксируется в Z<sub>0</sub>. Исключение – продукции (3)-(4). В них отклонения значений силы тока d<sub>2I</sub> и температуры розетки и проводки стойки d<sub>2LINE</sub> (большие, чем d<sub>1I</sub> и d<sub>1LINE</sub>) указывают на возможные нестабильные процессы, поэтому осуществляется переход в Z<sub>1</sub>.

Продукции (5)-(6) предписывают выполнить переход в исходное состояние Z<sub>0</sub> при дальнейших кратковременных отклонениях физических факторов, не служащих источником ПОС.

Следующая фаза прогнозирования ПОС связана с повышением концентраций газов, являющихся маркерными по отношению к процессам тления, и соответственно к прогнозированию ПОС.

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H_2} > d1_{H_2}) (\eta_{CO_2} \approx const)] \rightarrow Z_1 \quad (7)$$

$$Z_0 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H_2} > d1_{H_2}) (\eta_{CO_2} \approx const)] \rightarrow Z_1 \quad (8)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) \oplus (\eta_{H_2} > d1_{H_2})] \& (\eta_{CO_2} \approx const) \rightarrow Z_1 \quad (9)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) \oplus (\eta_{H_2} > d1_{H_2})] \& (\eta_{CO_2} \approx const) \rightarrow Z_1 \quad (10)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H_2} > d1_{H_2}) (\eta_{CO_2} \approx const)] \rightarrow Z_1 \& [C_{H_2} = C_{H_2} + 1] [C_{CO} = C_{CO} + 1] \& [(C_I = C_I + 1) \vee (C_T = C_T + 1)] \quad (11)$$

$$Z_1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H_2} > d1_{H_2}) (\eta_{CO_2} \approx const)] \rightarrow Z_1 \& [C_{H_2} = C_{H_2} + 1] [C_{CO} = C_{CO} + 1] \& [(C_I = C_I + 1) \& (C_T = C_T + 1)] \quad (12)$$

Продукции (7)-(8) описывают ситуацию, в которой изменение значений физических факторов (вместе или по отдельности) сопровождается увеличением концентраций маркерных газов. В этом случае осуществляется переход в состояние Z<sub>1</sub> с дальнейшим контролем развития ситуации. Продукции (9)-(10) описывают ситуацию, в которой в состоянии Z<sub>1</sub> не происходит одновременное увеличение концентраций маркерных газов для процессов тления. Соответственно данная ситуация фиксируется как нестабильное состояние Z<sub>1</sub> в обобщенном графе. Продукции (11)-(12) описы-



вают ситуацию дальнейшего увеличения концентраций маркерных газов с подсчетов количество превышений в состоянии Z1, т.е. идет накопление статистики превышений по физико-химическим факторам.

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& (level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE) \& [(C_{H2} = C_{H2} + \Delta_{H2}) (C_{CO} = C_{CO} + \Delta_{CO})] \quad (13)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& (level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE) \& [(C_{H2} = C_{H2} + \Delta_{H2}) (C_{CO} = C_{CO} + \Delta_{CO})] \quad (14)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \vee (I > d2_I)] \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \& [(C_I = C_I + \Delta_I) \vee (C_T = C_T + \Delta_T)] \quad (15)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& (I > d2_I)] \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \& C_I = C_I + \Delta_I \& (C_T = C_T + \Delta_T) \quad (16)$$

Продукции (13)-(14) описывают ситуацию существенного увеличения концентраций маркерных газов, что фиксируется как достижение предельного уровня. С вычислительной точки зрения двоичные переменные  $level_{H2}$  и  $level_{CO}$  изменяют свое состояние на TRUE, подготавливая переход в состояние Z2. Продукции (15)-(16) описывают ситуацию существенного увеличения силы тока и/или температуры проводки, что фиксируется как достижение предельных уровней двоичными переменными  $level_I$  и  $level_{LINE}$ .

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \vee (I > d2_I)] \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \& (level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE) \quad (17)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& (I > d2_I)] \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \& (level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE) \quad (18)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& [(C_I > \Delta_I) \vee (C_T > \Delta_T)] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \quad (19)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(C_I > \Delta_I) \vee (C_T > \Delta_T)] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \quad (20)$$

$$Z1 \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(C_{CO} > \Delta_{CO}) \vee (C_{H2} > \Delta_{H2})] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \quad (21)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& [(C_I > \Delta_I) \vee (C_T > \Delta_T)] \rightarrow Z2 \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \quad (22)$$

Продукции (17)-(18) описывают ситуацию существенного увеличения контролируемых значений концентраций маркерных газов и силы тока и/или температуры розетки и проводки. В этом случае осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС.

Продукции (19)-(20) описывают ситуацию превышения пороговых значений силы тока и/или температуры. В этом случае также осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС. Продукции (21)-(22) описывают ситуацию превышения пороговых значений концентраций маркерных газов. В этом случае аналогично осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС.

$$Z1[(\eta_{CO} > d1_{CO}) (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z2 \quad (23)$$

$$Z1[(\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z2 \quad (24)$$

$$Z1[(\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z2 \quad (25)$$

$$Z1[(\eta_{CO} > d2_{CO}) (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z2 \quad (26)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \vee (I > d1_I)] \& level_{LINE} = TRUE \vee (level_I = TRUE) \rightarrow Z2 \quad (27)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& (I > d1_I)] \& level_{LINE} = TRUE \& (level_I = TRUE) \rightarrow Z2 \quad (28)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \vee (I > d2_I)] \& level_{LINE} = TRUE \vee (level_I = TRUE) \rightarrow Z2 \quad (29)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& (I > d2_I)] \& level_{LINE} = TRUE \& (level_I = TRUE) \rightarrow Z2 \quad (30)$$

Продукции (23)-(24) описывают ситуацию повышения значений концентраций маркерных газов при достижении ранее пороговых превышений концентраций угарного газа (CO) и водорода (H2). В этом случае осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС. Продукции (25)-(26) описывают ситуацию существенного повышения значений концентраций маркерных газов при достижении ранее пороговых превышений концентраций угарного газа (CO) и водорода (H2). В этом случае аналогично осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС.

Продукции (27)-(28) описывают ситуацию повышения значений силы тока и/или температуры розетки и проводки при достижении ранее пороговых превышений этих физических факторов. В этом случае осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС. Продукции (29)-(30) описывают ситуацию существенного повышения значений концентраций маркерных газов при достижении ранее пороговых превышений концентраций угарного газа (CO) и водорода (H2). В этом случае аналогично осуществляется переход в состояние Z2, т.е. прогнозируется ПОС.



Особенность продукций (23)-(30) – это сокращенный состав проверочных условий в левой части правил, что позволяет оперативно прогнозировать ПОС.

$$Z1[(\eta_{CO} < d1_{CO}) (\eta_{H2} < d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(\eta_{CO} < d1_{CO}) (\eta_{H2} < d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = FALSE) \& (level_{H2} = FALSE)] \quad (31)$$

$$Z1[(\eta_{CO} < d2_{CO}) (\eta_{H2} < d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = TRUE) \& (level_{H2} = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(\eta_{CO} < d2_{CO}) (\eta_{H2} < d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \& [(level_{CO} = FALSE) \& (level_{H2} = FALSE)] \quad (32)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \vee (I < d1_I)] \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \& (I < d1_I)] \& [(level_{LINE} = FALSE) \vee (level_I = FALSE)] \quad (33)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \& (I < d1_I)] \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(t_{LINE} < d1_{LINE}) \vee (I < d1_I)] \& [(level_{LINE} = FALSE) \vee (level_I = FALSE)] \quad (34)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} < d2_{LINE}) \vee (I < d2_I)] \& [(level_{LINE} = TRUE) \vee (level_I = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(t_{LINE} < d2_{LINE}) \& (I < d2_I)] \& [(level_{LINE} = FALSE) \vee (level_I = FALSE)] \quad (35)$$

$$Z1 \& [(t_{LINE} < d2_{LINE}) \& (I < d2_I)] \& [(level_{LINE} = TRUE) \& (level_I = TRUE)] \rightarrow Z1 \& [(t_{LINE} < d2_{LINE}) \vee (I < d2_I)] \& [(level_{LINE} = FALSE) \vee (level_I = FALSE)] \quad (36)$$

Продукции (30)-(36) описывают ситуации возвращения контролируемых физико-химических значений в начальные установки. Как итог состояние неустойчивости Z1 сохраняется, но двоичные признаки пороговых превышений сбрасываются в состояние FALSE.

$$Z0(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) \& (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \rightarrow Z1 \quad (37)$$

$$Z0(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& [(\eta_{CO} > d1_{CO}) \& (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const)] \rightarrow Z1 \quad (38)$$

$$Z0(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \& (\eta_{H2} > d2_{H2})) \& (\eta_{CO2} \approx const)] \rightarrow Z2 \quad (39)$$

$$Z0(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \& (\eta_{H2} > d2_{H2})) \& (\eta_{CO2} \approx const)] \rightarrow Z2 \quad (40)$$

$$Z1 \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) \& (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& [(C_{H2} = C_{H2} + 1) (C_{CO} = C_{CO} + 1)] \quad (41)$$

$$Z1 \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) \& (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& [(C_{CO} = C_{CO} + 1) (C_{H2} = C_{H2} + \Delta_{H2})] \quad (42)$$

$$Z1 \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \& (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z1 \& [(C_{CO} = C_{CO} + \Delta_{CO}) (C_{H2} = C_{H2} + 1)] \quad (43)$$

$$Z1 \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \& (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \rightarrow Z2 \quad (44)$$

$$Z1(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) \vee (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \& [(C_{CO} > \Delta'_{CO}) \vee (C_{H2} > \Delta'_{H2})] \rightarrow Z2 \quad (45)$$

$$Z1(t_{LINE} > d1_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \vee (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \& [(C_{CO} > \Delta'_{CO}) \vee (C_{H2} > \Delta'_{H2})] \rightarrow Z2 \quad (46)$$

$$Z1(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d1_{CO}) \vee (\eta_{H2} > d1_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \& [(C_{CO} > \Delta'_{CO}) \vee (C_{H2} > \Delta'_{H2})] \rightarrow Z2 \quad (47)$$

$$Z1(t_{LINE} > d2_{LINE}) \& [((\eta_{CO} > d2_{CO}) \vee (\eta_{H2} > d2_{H2}) (\eta_{CO2} \approx const))] \& [(C_{CO} > \Delta'_{CO}) \vee (C_{H2} > \Delta'_{H2})] \rightarrow Z2 \quad (48)$$

Аналогично по структуре описываются продукции по второй причинно-следственной схеме прогнозирование ПОС, что связано с анализом изменяющейся концентрации углекислого газа.

Полнота состава продукционной системы проверялась методом структурно-функционального тестирования. В результате получено базовое ядро продукционной системы, учитывающее значимые случаи сочетания значений факторов, влияющих на ПОС.

### Выводы

Теоретическая значимость полученной продукционной системы определяется структурой продукции, имеющей первым символом в левой и правой частях состояние обобщенного графа, а в хвостах левой и правой частей продукции – условия и последствия срабатывания продукции. Такая структуризация в целом является известной, но в данном контексте позволяет упорядочить процесс прогнозирования, связывая распознавание пожароопасной ситуации в последовательным переходом по графу обобщенных состояний.

Практическая ценность полученной продукционной системы заключается в создании такой системы продукции, для которой не существует недетерминированного срабатывания отдельных ее правил, но в тоже время создана основа для параллельного срабатывания подмножеств правил, что позволяет гибко выявлять пожароопасную ситуацию по уровням контролируемых факторов.

Таким образом, на основе описаний пожароопасной ситуации через физико-химические факторы, ведущие к пожару или описывающие его, создана продукционная система, левая часть которой – это классическая функция переходов для автомата Мура, а правая часть – комбинация выходных действий и промежуточной обработки атрибутов состояния (счетчики увеличения значений физико-химических факторов, пороги превышений значений).



### Список литературы References

Ханис Н.А., Сазонов С.Ю., Титенко Е.А. 2015. Подход к прогнозированию возникновения пожароопасной ситуации в дата-центре на основе нейронных сетей. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 4(17): 8-14.

Hanis N.A., Sazonov S.YU., Titenko E.A. 2015. Podhod k prognozirovaniyu vozniknoveniya pozharoopasnoj situacii v data-centre na osnove nejronnyh setej. Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. 4(17): 8-14.

Гривачев А.В., Емельянов С.Г., Бородин М.В. 2015. Структурно-функциональная схема распознавания и оценки риска в системе управления роботизированными многофункциональными машинами. Информационно-измерительные и управляющие системы. т. 13. № 6: 4-9.

Grivachev A.V., Emel'yanov S.G., Borodin M.V. 2015. Strukturno-funkcional'naya skhema raspoznavaniya i ocenki riska v sisteme upravleniya robotizirovannymi mnogofunkcional'nymi mashinami. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. t. 13. № 6: 4-9.

Титенко Е.А. 2012. Продукционная машина-генератор для обработки символьных данных дискретных объектов. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. № 2-1: 111-116.

Titenko E.A. 2012. Produkcionnaya mashina-generator dlya obrabotki simvol'nyh dannyh diskretnyh ob"ektov. Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. № 2-1: 111-116.

Титенко Е.А., Зерин И.С. 2012. Исчислительная система продукции и процедура распознавания конфликтов данных. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2: 24-29.

Titenko E.A., Zerin I.S. 2012. Ischislitel'naya sistema produkcij i procedura raspoznavaniya konfliktov dannyh. Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij. 2: 24-29.

Сайдулин Е. 2009. Газовые пожарные извешатели: обнаружение пожара на ранней стадии. Алгоритм безопасности 6: 32-43.

Sajdulin E. 2009. Gazovye pozharne izveshateli: obnaruzhenie pozhara na rannej stadia. Algoritm bezopasnosti. 6: 32-43.